

PUBLICATION NUMBER : 2000307179  
PUBLICATION DATE : 02-11-00

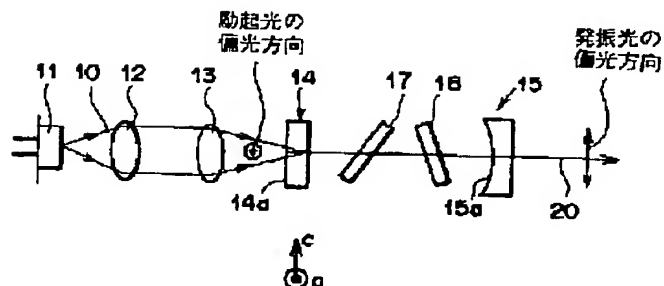
APPLICATION DATE : 21-04-99  
APPLICATION NUMBER : 11113569

APPLICANT : FUJI PHOTO FILM CO LTD;

INVENTOR : HIUGA HIROAKI;

INT.CL. : H01S 3/094 H01S 3/108 H01S 3/16

TITLE : SEMICONDUCTOR LASER  
STIMULATING SOLID-STATE LASER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a semiconductor laser stimulating solid-state laser which is capable of preventing a laser beam from changing to an ellipse in cross section, where an Nd:YVO4 crystal is used as a laser medium in the solid-state laser.

SOLUTION: A semiconductor laser stimulating solid-state laser excites an Nd:YVO4 crystal 14 by a laser beam (exciting beam) 10 emitted from a semiconductor laser 11, where the Nd:YVO4 crystal 14 is so arranged as to make its axis a parallel in the direction of rectilinear polarization of the exciting beam 10, a polarizing element 17 which makes the direction of rectilinear polarization of the oscillation beam 20 of the solidstate laser parallel with the axis c of the Nd:YVO4 crystal 14 is inserted in a resonator, and the axes a and c share in absorption and oscillation respectively.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-307179

(P2000-307179A)

(43) 公開日 平成12年11月2日 (2000. 11. 2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>H 0 1 S 3/094  
3/108  
3/16

識別記号

F I

H 0 1 S 3/094  
3/108  
3/16

テマコード\* (参考)

S 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平11-113569

(22) 出願日 平成11年4月21日 (1999. 4. 21)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社  
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 岡崎 洋二

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富  
士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 日向 浩彰

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富  
士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外 1 名)

Fターム (参考) 5F072 AB20 JJ06 KK06 KK12 KK30

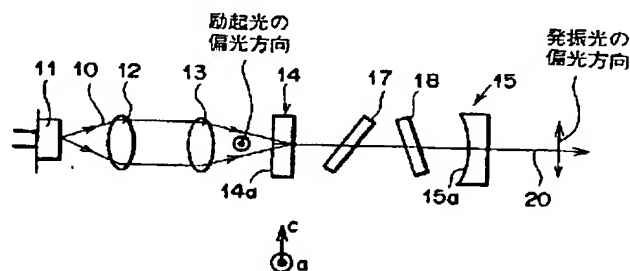
PP07 QQ02 RR01 SS01

(54) 【発明の名称】 半導体レーザー励起固体レーザー

(57) 【要約】

【課題】 レーザー媒質としてNd:YVO<sub>4</sub>結晶を用いた半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、発振光のビーム断面形状が楕円状等に変形することを防止する。

【解決手段】 半導体レーザー11から発せられたレーザー光（励起光）10によりNd:YVO<sub>4</sub>結晶14を励起する半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14を、そのa軸が励起光10の直線偏光方向と平行になる向きに配置するとともに、共振器内に、固体レーザー発振光20の直線偏光方向をNd:YVO<sub>4</sub>結晶14のc軸と平行な向きに設定する偏光素子17を挿入し、a軸吸収、c軸発振とする。



# 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザーから発せられたレーザー光によりNd:YVO<sub>4</sub>結晶を励起する半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶が、そのa軸が前記レーザー光の直線偏光方向と平行になる向きに配置されるとともに、共振器内に、固体レーザー発振光の直線偏光方向を前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶のc軸と平行な向きに設定する偏光素子が挿入されていることを特徴とする半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項2】 前記偏光素子としてブリュスター板が用いられたことを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項3】 前記共振器内に、固体レーザーの発振モードを単一縦モード化する波長選択素子が挿入され、前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶として、Ndの添加量が1.5～2.5at%であるものが用いられたことを特徴とする請求項1または2記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項4】 前記Ndの添加量がほぼ2at%であることを特徴とする請求項3記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項5】 前記半導体レーザーの出力が1W以上であることを特徴とする請求項1から4いずれか1項記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項6】 前記固体レーザー発振光を短波長化する光波長変換素子が設けられたことを特徴とする請求項1から5いずれか1項記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

【請求項7】 前記光波長変換素子が、周期ドメイン反転構造を有する非線形光学材料のバルク結晶からなるものであることを特徴とする請求項6記載の半導体レーザー励起固体レーザー。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、固体レーザー媒質としてNd:YVO<sub>4</sub>結晶を用いた半導体レーザー励起固体レーザーに関し、特に詳細には、高出力化した際に熱レンズ効果によって発振光のビーム断面形状が変形してしまうことを防止した半導体レーザー励起固体レーザーに関するものである。

### 【0002】

【従来の技術】例えば特開平7-302946号に示されるように、ネオジウム等の希土類が添加された固体レーザー結晶を半導体レーザーによって励起する固体レーザーが公知となっている。

【0003】この半導体レーザー励起固体レーザーにおいては、固体レーザー結晶としてNd:YVO<sub>4</sub>結晶が用いられることも多く、その場合従来は、Nd:YVO

4結晶を、そのc軸が励起光の直線偏光方向と平行になる向きに配置して（いわゆるc軸吸収）、固体レーザー発振光の直線偏光方向をこのc軸と平行な向きに設定（いわゆるc軸発振）していた。

【0004】すなわち、下の（表1）に示すようにNd:YVO<sub>4</sub>結晶では、a軸吸収とするよりもc軸吸収とした場合の方が励起光の吸収係数が大きいことから、必然的にこのような方式が採用されて来た。

### 【0005】

【表1】

Ndドーパ量	吸 収 係 数	
	a軸吸収	c軸吸収
1at%	10cm <sup>-1</sup>	40cm <sup>-1</sup>
2at%	20 //	80 //
3at%	30 //	120 //

### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところが、このNd:YVO<sub>4</sub>結晶を用いたc軸吸収、c軸発振の従来の半導体レーザー励起固体レーザーにおいては、固体レーザーの高出力化の要望に応えるために1W～3W程度の高出力の半導体レーザーを用いて励起パワーを高めると、固体レーザー発振光のビーム断面形状が楕円状等に変形しやすいという問題が認められる。

【0007】本発明は上記の事情に鑑み、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶を用いた半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、発振光のビーム断面形状が変形することを防止することを目的とするものである。

### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による半導体レーザー励起固体レーザーは、前述したように半導体レーザーから発せられたレーザー光によりNd:YVO<sub>4</sub>結晶を励起する半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、a軸吸収、c軸発振する構成としたものであり、具体的には、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶が、そのa軸が励起光である上記レーザー光の直線偏光方向と平行になる向きに配置されるとともに、共振器内に、固体レーザー発振光の直線偏光方向をNd:YVO<sub>4</sub>結晶のc軸と平行な向きに設定する偏光素子が挿入されたことを特徴とするものである。

【0009】なお上記の偏光素子としては、例えばブリュスター板を好適に用いることができる。

【0010】他方、本発明の半導体レーザー励起固体レーザーにおいて、共振器内に固体レーザーの発振モードを単一縦モード化する波長選択素子が挿入される場合は、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶として、Ndの添加量が1.5～2.5at%であるもの、好ましくはほぼ2at%のものをを用いるのが望ましい。

【0011】また本発明は、前述したように半導体レ

ザーの出力が1W以上であって、熱レンズ効果が生じやすい場合に適用されると特に効果的である。

#### 【0012】

【発明の効果】本発明者は、固体レーザー発振光のビーム断面形状が変形してしまうという従来装置の問題は、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶のように熱伝導係数が小さいレーザー結晶において、c軸吸収、c軸発振としておくと、励起パワーが高い場合に熱レンズ効果が生じることに起因していることを見出した。

【0013】そこで、c軸吸収に比べて比較的吸収の低いa軸吸収としておくと、熱レンズ効果が抑制され、固体レーザー発振光のビーム断面形状が変形してしまうことを防止できる。

【0014】しかし、a軸吸収としてそのままa軸発振させると、別の問題が生じることも分かった。すなわち、a軸発振ではc軸発振の場合よりも比較的ゲインが小さいので、固体レーザーを高出力化する上で不利となる。またa軸発振の場合は、発振可能な準位がいくつも有るので、多重縦モード発振しやすくなる。そこで、共振器内に偏光素子を挿入してc軸発振とすると、ゲインが比較的高くなり、また単一縦モードで発振しやすくなる。

【0015】以上により本発明の半導体レーザー励起固体レーザーは、発振光のビーム断面形状が変形してしまうことを防止でき、その一方で、安定した縦モード発振と高出力化を実現できるものとなる。

#### 【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0017】＜第1実施形態＞図1は、本発明の第1の実施形態による半導体レーザー励起固体レーザーを示すものである。この半導体レーザー励起固体レーザーは、励起光としてのレーザービーム10を発する半導体レーザー11と、発散光である上記レーザービーム10を平行光化するコリメーターレンズ12と、平行光となったレーザービーム10を集光する集光レンズ13と、ネオジウム(Nd)がドープされた固体レーザー媒質であるYVO<sub>4</sub>結晶(Nd:YVO<sub>4</sub>結晶)14と、このNd:YVO<sub>4</sub>結晶14の前方側(図中右方側)に配された共振器ミラー15と、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14と共振器ミラー15との間に配されたブリュスター板17と、同じくNd:YVO<sub>4</sub>結晶14と共振器ミラー15との間に配されたエタロン18とを有している。

【0018】半導体レーザー11は発光幅が200μmで、出力2Wのものであり、そこから発せられた波長809nmのレーザービーム10は集光レンズ13により集光されて、収束ビーム径が130μmの状態Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14を励起する。

【0019】一方Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14はNdが2at%ドープされたもので、縦3mm×横3mm×厚さ1m

mに形成されている。このNd:YVO<sub>4</sub>結晶14は、レーザービーム10によってネオジウムイオンが励起されることにより、波長1064nmの光を発する。そして、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14の後方端面14aと共振器ミラー15のミラー面15aとで構成される共振器によりレーザー発振が引き起こされて、波長1064nmの固体レーザービーム20が得られる。なおこの固体レーザービーム20は、エタロン18の作用で単一縦モード化される。

【0020】ここでNd:YVO<sub>4</sub>結晶14は、そのa軸がレーザービーム10の直線偏光方向(紙面に垂直な方向)と平行になる向きに配置されている。また偏光素子であるブリュスター板17は、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14のc軸方向に直線偏光した光がp偏光として入射する向きに配置されている。

【0021】この第1実施形態の半導体レーザー励起固体レーザーでは、以上の構成によりa軸吸収、c軸発振となる。このようにa軸吸収としたことにより熱レンズ効果が抑制されるので、上述の通り半導体レーザー11の出力を2Wと比較的高くしても、固体レーザービーム20のビーム断面形状が楕円状等に変形してしまうことを防止できる。なお固体レーザービーム20のビーム径は、約200μmであった。

【0022】他方、ブリュスター板17aの作用でc軸発振としたことにより、a軸発振の場合よりもゲインが高くなり、2W励起の従来装置と比べて固体レーザー出力が特に低下することなく、600mWの出力が得られた。また、c軸発振としたことにより単一縦モード性も高くなり、完全な単一縦モード化が実現された。

【0023】なお、このようにエタロン18を用いて発振モードを単一縦モード化する場合は、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14として、Ndの添加量が1.5～2.5at%であるもの、より好ましくは本例のようにほぼ2at%のものをを用いるのが望ましい。

【0024】＜第2実施形態＞図2は、本発明の第2の実施形態による半導体レーザー励起固体レーザーを示すものである。なおこの図2において、図1中のものと同等の要素には同番号を付してあり、それらについての重複した説明は省略する(以下、同様)。

【0025】この半導体レーザー励起固体レーザーは、図1に示したものと比べると、Nd:YVO<sub>4</sub>結晶14の後方端面14aと共振器ミラー15のミラー面15aとで構成される共振器内に、さらに光波長変換素子16が設けられている点が基本的に異なるものである。本例における光波長変換素子16は、一例として、MgOがドープされたLiNbO<sub>3</sub>結晶に周期ドメイン反転構造が設けられているものである。

【0026】この場合、波長1064nmの固体レーザービーム20は光波長変換素子16に入射して、波長が1/2つまり532nmの第2高調波21に変換される。そして共振器ミラー15のミラー面15aに施されるコートは、レーザ

ービーム10および固体レーザービーム20は良好に反射し、波長 532 nm の第2高調波21は一部透過させるものとされているので、共振器ミラー15からは、ほぼ第2高調波21のみが射出する。

【0027】この第2実施形態でも、Nd:YVO<sub>4</sub> 結晶14およびブリュスター板17は、第1実施形態におけるのと同様に配置され、それにより本例でもa軸吸収、c軸発振となる。そして、a軸吸収としたことにより熱レンズ効果が抑制されて、固体レーザービーム20のビーム断面形状、つまりは第2高調波21のビーム断面形状が変形することを防止できる。またc軸発振としたことにより、550 mWと高い第2高調波出力が得られ、かつ完全な単一縦モード化が実現された。

【0028】すなわち、熱レンズ効果を抑制するためにa軸吸収とすると、前述の(表1)から明らかな通りc軸吸収の場合よりも吸収係数が低くなるが、例えばNdの添加量を2 at%とすれば吸収係数は、従来一般的であったNd添加量が1 at%でc軸発振の場合の半分である20 cm<sup>-1</sup>を確保できる。吸収係数がこの程度あれば、エタロン18による単一縦モード化の効果が良好に得られる。

【0029】それに対して、Ndの添加量を1 at%とする場合は、吸収係数が低過ぎることから、単一縦モード性は悪化する。反対にNdの添加量を3 at%と多くする場合、単一縦モード性は良好となるが、熱レンズ効果の影響が出て、固体レーザービーム20のビーム断面形状が変形することがある。

【0030】次に、本発明の効果を確認するために作成した比較例の半導体レーザー励起固体レーザーについて説明する。

【0031】＜第1比較例＞図3は、第1の比較例としての半導体レーザー励起固体レーザーを示すものである。この第1比較例の半導体レーザー励起固体レーザーは、図1に示したものと比べると、半導体レーザー11とNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14との配置関係が異なる。すなわち、本例においてNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14は、そのc軸がレーザービーム10の直線偏光方向(紙面に平行な方向)と平行になる向きに配置されている。またここではNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14として、Ndが1 at%ドープされたものが用いられている。

【0032】このNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14の形状は、第1および2実施形態におけるものと同じである。また半導体レーザー11も第1および2実施形態におけるのと同じもので、出力は2 Wである。一方、第1および2実施形態で用いられたブリュスター板17は省かれている。

【0033】以上の構成により本例では、従来装置と同様のc軸吸収、c軸発振となる。この場合はc軸吸収としたことにより熱レンズ効果が生じ、それにより固体レーザーの発振ビームの波面が収差を持ち、エタロン18の波面収差ロスが増大して、固体レーザー出力は500 m

Wと低下した。またこの熱レンズ効果のために、ビーム径が約200 μmである固体レーザービーム20のビーム断面形状は楕円化してしまう。この楕円の短径と長径との比は、1:1.1であった。

【0034】＜第2比較例＞第2比較例として、基本的構成は上記第1比較例と同様にしたまま、Nd:YVO<sub>4</sub> 結晶14として、Ndが2 at%ドープされたものを用いた半導体レーザー励起固体レーザーを作成した。

【0035】この第2比較例の半導体レーザー励起固体レーザーもc軸吸収、c軸発振となる。そしてc軸吸収としたことにより熱レンズ効果が生じ、ビーム径が約200 μmである固体レーザービーム20のビーム断面形状が楕円化した。この場合の楕円の短径と長径との比は、1:1.3であった。また固体レーザー出力は、250 mWにまで低下した。

【0036】＜第3比較例＞図4は、第3の比較例としての半導体レーザー励起固体レーザーを示すものである。この第3比較例の半導体レーザー励起固体レーザーは、図2に示した本発明の第2実施形態と比べると、半導体レーザー11とNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14との配置関係が異なる。すなわち、本例においてNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14は上記第1および2比較例におけるのと同様に配置されている。また、ブリュスター板17は省かれている。

【0037】上記の構成により、この場合もc軸吸収、c軸発振となる。そしてc軸吸収としたことにより熱レンズ効果が生じ、基本波である固体レーザービーム20のビーム断面形状が楕円化した。

【0038】また、第2高調波21はNd:YVO<sub>4</sub> 結晶14の内部において両端面間で反射するが、生じた熱歪みにより波面が変形した反射第2高調波21と、Nd:YVO<sub>4</sub> 結晶14から前方に射出した第2高調波21との間で不均一干渉が生じ、それと上記基本波のビーム形状変形との相乗効果により、第2高調波21のビーム断面形状が大きく変形した。

【0039】その結果、第2高調波21を完全に単一横モード化することはできず、そのため、完全な単一縦モード化も不可能であった。そこで、縦モード競合によるノイズが発生した。また、第2高調波出力も2 W励起の場合で250 mWに留まった。

【0040】＜第4比較例＞第4比較例として、第2実施形態の装置からブリュスター板17を省いた半導体レーザー励起固体レーザーを作成した。この第4比較例では、a軸吸収、a軸発振となる。本例では、a軸吸収としたことにより熱レンズ効果は抑制できたが、a軸発振としたために発振スペクトルがいくつも存在するようになり、また第2高調波出力は、第2実施形態では550 mWであったのに対し、250 mWにまで低下した。

【0041】以上説明した第1～4比較例の結果と比べれば、本発明による効果が明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による半導体レーザー励起固体レーザーを示す側面図

【図2】本発明の第2実施形態による半導体レーザー励起固体レーザーを示す側面図

【図3】従来の半導体レーザー励起固体レーザーの一例を示す側面図

【図4】従来の半導体レーザー励起固体レーザーの別の例を示す側面図

【符号の説明】

10 レーザービーム（励起光）

11 半導体レーザー

12 コリメーターレンズ

13 集光レンズ

14 Nd:YVO<sub>4</sub> 結晶

15 共振器ミラー

16 光波長変換素子

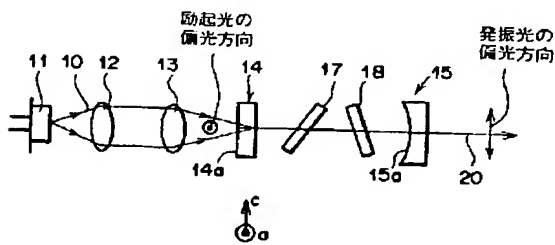
17 ブリュースター板

18 エタロン

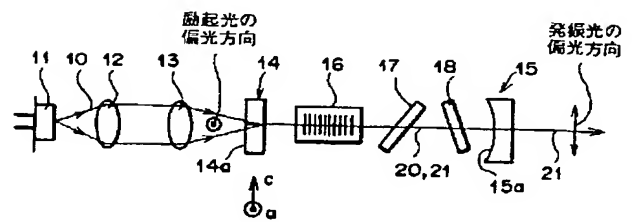
20 レーザービーム（固体レーザービーム）

21 第2高調波

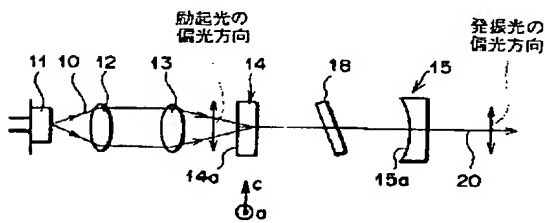
【図1】



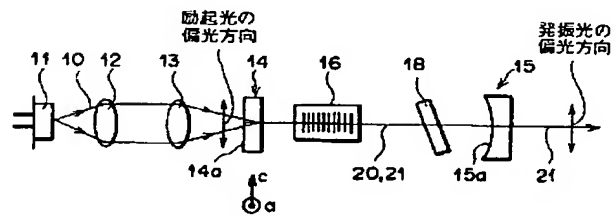
【図2】



【図3】



【図4】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**